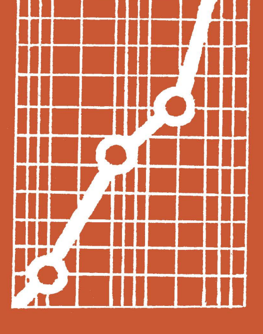
Ю. С. КРАСОВ



ВХОДНЫЕ КАСКАДЫ ВЫСОКО-КАЧЕСТВЕННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Основана в 1947 году

Выпуск 1026

Ю. С. КРАСОВ

ВХОДНЫЕ КАСКАДЫ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1982

ББК 32.846
К78
УДК 681.84.086

Красов Ю. С.

К78 Входные каскады высококачественных усилителей низкой частоты. — М.: Радио и связь, 1982. — 32 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1026).

15 к.

В брошюре обобщен и проанализирован опыт создания входных каскадов высококачественных усилителей низкой частоты. Приводится оригинальная методика инженерного расчета входного каскада на полевом транзисторе. Значительное место уделено описанию предусилителей-корректоров для звукоснимателей электропроигрывающих устройств.

Рассчитана на радиолюбителей, имеющих опыт разработки радиоаппаратуры.

К $\frac{2402030000-168}{046(01)-82}$ 223-81(Э.) **ББК 32.846** **БФ2.1**

РЕЦЕНЗЕНТ Л. А. ГАЛЧЕНКОВ

Редакция научно-популярной литературы и массовой радиобиблиотеки

ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ КРАСОВ

Входные каскады высококачественных усилителей низкой частоты

Редактор *А. П. Майоров*
Редактор издательства *Н. В. Ефимова*
Обложка художника *В. Я. Батищева*
Технический редактор *Г. С. Соловьева*
Корректор *А. Д. Халанская*

ИБ № 439 (Энергия)

Сдано в набор 12.09.80 Подписано в печать 22.07.81. Т-22061. Формат 84×108[1]/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 1,68. Усл. кр.-отт. 1,995. Уч.-изд. л. 1,96. Тираж 50 000 экз. Изд. № 19427. Заказ № 7. Цена 15 к.

Издательство «Радио и связь», 101000, Москва, Главпочтамт, а/я 693

Владимирская типография «Союзполиграфпрома»
при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из самых популярных направлений деятельности радиолюбителей-конструкторов является создание высококачественной аппаратуры звуковоспроизведения и, в частности, одного из звеньев этой аппаратуры — усилителя низкой частоты (УНЧ).

Анализ популярной литературы по этой теме показал, что основное внимание уделяют, как правило, одной части УНЧ — оконечному усилителю или усилителю мощности. Однако такое положение зачастую приводит к тому, что недостаточная отработка схем входных каскадов усилителей сводит на нет полученные высокие параметры оконечных усилителей. Действительно, ряд параметров современных УНЧ формируются именно во входных каскадах усилителей, например отношение сигнал/шум, затухание между каналами, уровень фона, соответствие частотной коррекции требуемой и т. д.

Предлагаемая брошюра познакомит радиолюбителей с наиболее популярными схемотехническими решениями в этой области. Критически оценивая ту или иную схему входного каскада, читатель может осуществить правильный ее выбор для конструируемого УНЧ.

К входным каскадам отнесены те, на вход которых подается электрический сигнал звуковой программы. Источниками высококачественной звуковой программы обычно являются: микрофон, магнитная или пьезоэлектрическая головка звукоснимателя, линейные выходы радиоприемника и магнитофона.

Опыт показал, что УНЧ на транзисторах могут по большинству параметров (не говоря уже о технологичности) превосходить ламповые УНЧ, однако их звучание менее естественно. Кроме того, в усилительном каскаде на транзисторе присутствуют гармонники вплоть до 8-й и 9-й, в то время как в ламповых усилителях их нет, начиная с 4-й. При одинаковом увеличении уровня сигнала искажения в транзисторных усилителях растут также более круто, чем в ламповых. Следовательно, пока преждевременно отказываться от использования в УНЧ электронных ламп.

В брошюре рассмотрены входные каскады как на транзисторах, так и на электронных лампах.

Отзывы о книге просьба направлять по адресу: 101000, Москва, Главпочтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь».

Автор

ИСТОЧНИКИ СИГНАЛА И ТРЕБОВАНИЯ К ВХОДНЫМ КАСКАДАМ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Микрофон

В радиолюбительской практике запись с микрофона обычно используют для фиксации разнообразных эффектов: для записи голосов животных, птиц, шума моря и т. п. В редких случаях — для записи музыкальных инструментов и певцов. Последнее объясняется тем, что для высококачественной записи музыкальных произведений необходим не только соответствующий микрофон, но и специально оборудованное помещение.

Наиболее часто используют микрофоны динамического типа, например МД-38, МД-45. Характеристика этих микрофонов в диапазоне частот 50—15 000 Гц имеет неравномерность 8—12 дБ. Средний уровень выходного сигнала находится в пределах 0,5—1 мВ; рекомендуемое сопротивление нагрузки 47 кОм; динамический диапазон 50 дБ.

Исходя из этих характеристик, а также из того, что стандартный уровень выходного сигнала должен быть 0,2—0,5 В, можно сформулировать и требования к входному микрофонному усилителю:

Полоса воспроизводимых частот при неравномерности ±1,5 дБ, Гц	40—20 000
Коэффициент усиления, дБ	50—55
Отношение сигнал/шум, дБ	60—65
Коэффициент гармонических искажений, %, не хуже	0,2

Радиоприемник, линейный выход магнитофона

Радиоприемники длинных и средних волн редко используются совместно с высококачественными УНЧ, так как их полоса пропускания обычно не превышает 7000 Гц, что явно недостаточно для качественного звуковоспроизведения. Поэтому говорить о радиоприемнике как об источнике высококачественного сигнала можно, имея в виду только УКВ тьюнер со стереодекодером. Такой приемник обеспечивает полосу воспроизведения 30 — 15 000 Гц при неравномерности ±1,5 дБ, динамический диапазон более 50 дБ, уровень выходного сигнала (линейный выход) около 0,15—0,5 В, переходное затухание каналов до 30 дБ. Гармонические и интермодуляционные искажения обычно не превышают 2%. Рекомендуемое сопротивление нагрузки колеблется от 10 до 100 кОм.

Одним из наиболее часто применяемых радиолюбителями источников звуковых программ является магнитофон. Современные магнитофоны, использующие высокоэффективные и малошумящие лен-

ты, могут обеспечить весьма высококачественную запись и воспроизведение звука. Самое широкое распространение получили магнитофонные приставки или, как их называют, — деки. Они не имеют усилителей мощности и оканчиваются линейным выходом после усилителя-корректора воспроизведения (или универсального усилителя). Полоса записываемых и воспроизводимых частот магнитофонов высокого класса составляет 30 — 22 000 Гц, динамический диапазон превышает 50 дБ, переходное затухание каналов на частоте 1 кГц — более 30 дБ, гармонические и интермодуляционные искажения составляют десятые доли процента. Рекомендуемое сопротивление нагрузки от 50 до 100 кОм.

Исходя из общности ряда характеристик линейных выходов радиоприемника и магнитофона, для их подключения к основному УНЧ используют однотипные коммутируемые входы. Требования к ним следующие:

Полоса воспроизводимых частот при неравномерности ±1 дБ, Гц	20—25 000
Отношение сигнал/шум, дБ	70—80
Коэффициент гармонических и интермодуляционных искажений, %, не более . .	0,1—0,2
Затухание между каналами на частоте 1 кГц, дБ, не менее	30—35
Входное сопротивление, кОм, не ниже . .	100

Обычно частотная коррекция для этих источников звукового сигнала в входных каскадах УНЧ не требуется, так как она осуществляется в самих источниках.

Электромагнитный звукосниматель

Головка электромагнитного звукоснимателя имеет амплитудно-частотную характеристику в виде горизонтальной линии. В соответствии с ГОСТ 7893-72 частотная характеристика записи имеет вид, представленный на рис. 1. На частоте 1 кГц чувствительность редко превышает 1,5 мВ/(см·с). Частотные характеристики головок разного класса могут существенно отличаться друг от друга. Существуют головки с полосой воспроизводимых частот 5—50 000 Гц и головки с полосой воспроизведения 30—15 000 Гц. В данной брошюре рассматриваются входные каскады (предусилители-корректоры) для головок с наиболее распространенной частотной характеристикой 20—20 000 Гц.

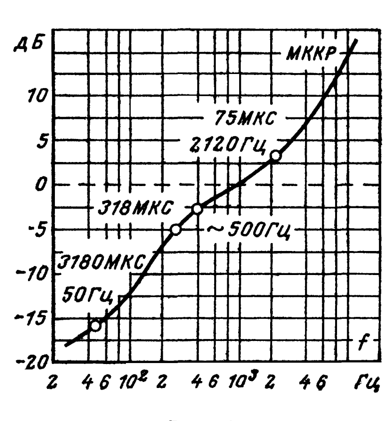


Рис. 1.

Рекомендуемое сопротивление для электромагнитных головок составляет 47 кОм. Емкость нагрузки оговаривается в паспорте на головку и может составлять от 100 до

1000 пФ. Коэффициент гармонических и интермодуляционных искажений электромагнитных головок невелик. Переходное затухание между каналами на частоте 1 кГц достигает 35 дБ.

Учитывая изложенное, можно сформулировать усредненные требования к входным каскадам для коррекции сигнала от электромагнитной головки:

Полоса частот с учетом коррекции при неравномерности ±1,5 дБ, Гц	20—20 000
Коэффициент гармонических колебаний, %	0,1—0,2
Коэффициент усиления на частоте 1 кГц, дБ	35—40
Входное сопротивление, кОм	47
Переходное затухание на частоте 1 кГц, дБ	40
Отношение сигнал/шум, дБ	60—75

Необходимо отметить одно обстоятельство. Некоторые конструкторы считают целесообразным повышать нижнюю частоту воспроизведения с 20 до 30—40 Гц, обосновывая это тем, что в реальном звуковом сигнале этих частот мало, а громкоговорители, особенно размещенные в неприспособленных жилых комнатах, воспроизводят их с большими частотными и нелинейными искажениями. В то же время в частотном спектре механических шумов электропроигрывающих устройств пик находится в районе 20—40 Гц. Поэтому для тех электропроигрывающих устройств, у которых уровень механических вибраций велик, такое сужение полосы воспроизводимых частот может повлиять на звуковоспроизведение положительно. Однако при использовании действительно высококачественных электропроигрывателей с механическими вибрациями, равными —60 дБ и ниже, такое сужение полосы нецелесообразно.

Пьезоэлектрический звукосниматель

При определенных схемотехнических решениях входных каскадов для пьезоэлектрических головок можно получить удовлетворительные результаты. Рассмотрим характерные (усредненные) параметры современных пьезоэлектрических головок.

Полоса воспроизводимых частот лежит в диапазоне 30—15 000 Гц при неравномерности частотной характеристики 6—12 дБ. Переходное затухание между каналами на частоте 1 кГц редко превышает 15 дБ и имеет явную тенденцию с увеличением частоты уменьшаться. Гармонические и интермодуляционные искажения составляют несколько процентов. Требуемое сопротивление нагрузки — более 1 МОм. К достоинствам пьезоэлектрических головок надо отнести высокий уровень выходного сигнала, который колеблется от 50 до 150 мВ.

Рассмотренные характеристики источников сигнала дают возможность сформулировать некоторые общие требования к входным каскадам УНЧ. Поскольку сигналы от различных источников имеют разные уровни, входные каскады должны привести их к одному, который явится номинальным для универсальной части УНЧ.

Входной каскад должен обеспечить оптимальное согласование выходного сопротивления источника сигнала с входным сопротивлением усилителя. От правильности этого согласования в сущест-

венной мере зависит уровень шумов усилителя. Амплитудно-частотные характеристики всех источников сигналов должны быть скорректированы таким образом, чтобы при переключении с одного источника сигнала на другой не требовалось значительной регулировки тембра.

Главной проблемой при проектировании входных каскадов высококачественных усилителей является получение максимального отношения сигнал/шум. Это отношение зависит как от уровня полезного сигнала, так и от уровня помехи. Помеха представляет собой совокупность разного рода наводок и собственных шумов входного усилителя. Максимум отношения сигнал/шум может быть получен для каждого конкретного источника сигнала разными схемотехническими решениями. Поэтому необходимо уделить особое внимание как выбору схемы входного каскада, так и его рациональному монтажу.

СХЕМЫ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ

Схемы микрофонных усилителей

На рис. 2 изображена схема предварительного усилителя для динамического микрофона. Схема состоит из двух каскадов. Первый каскад собран на специальном малошумящем пентоде 6Ж32П. Конструкция лампы такова, что допускает питание нити накала перемен-

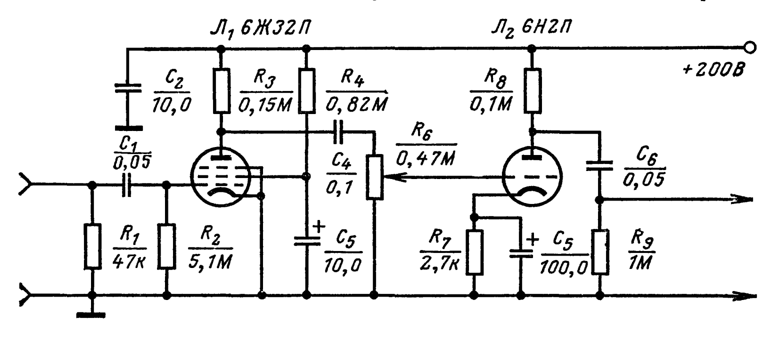


Рис. 2.

ным током без заметного увеличения уровня фона. Однако для действительно высококачественных УНЧ надо все же рекомендовать питать нить накала этой лампы выпрямленным током напряжением 5,7—5,8 В. При этом уровень фона будет минимальным. В целях снижения фона катод первой лампы непосредственно соединен с общим проводом. Смещение на управляющей сетке образуется за счет сеточного тока (падение напряжения на R_2).

Связь первого и второго каскадов — емкостная. Между первым и вторым каскадом установлен потенциометр R_6. Он необходим для установки уровня сигнала и корректировки этого уровня при смене ламп, так как цепей, стабилизирующих усиление, каскады не содержат.

Предварительный усилитель обеспечивает полосу усиления с неравномерностью ±1 дБ в диапазоне частот 10—20 000 Гц. Отношение сигнал/шум — более 58 дБ, усиление — более 50 дБ, гармонические искажения 0,5%.

На рис. 3 представлена еще одна схема микрофонного усилителя. Усилитель, как и в первом случае, двухкаскадный. В нем использован двойной триод 6Н2П. Питание нити накала лампы осуществляется постоянным током. Усилитель содержит цепь обратной связи.

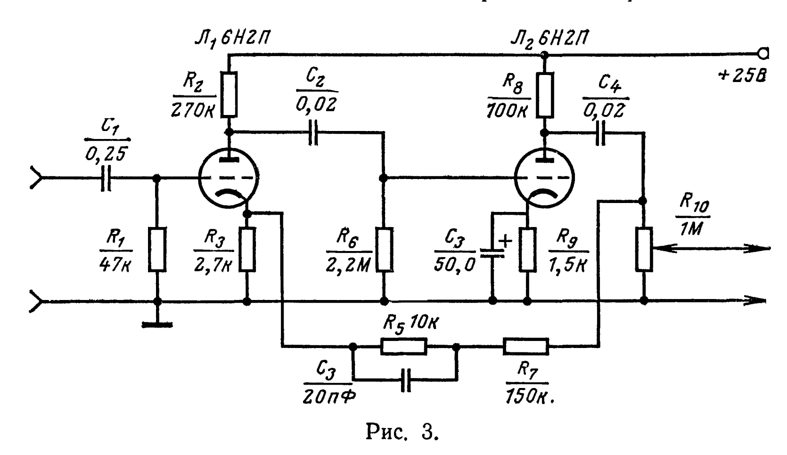


Рис. 3.

Благодаря этому он практически нечувствителен к смене ламп. Частотная характеристика линейна в полосе частот от 10—20 000 Гц, гармонические искажения не превышают 0,1%, отношение сигнал/шум 60 дБ.

Глубина обратной связи определяется сопротивлением резистора R_7. Конденсатор C_3 в цепи обратной связи снижает усиление на частотах выше 20 000 Гц, предотвращая возможное самовозбуждение на ультразвуковых частотах.

Схемы предусилителей-корректоров для электромагнитной головки звукоснимателя

На рис. 4 показана схема предусилителя-корректора, собранная на двойном триоде 6Н2П. Предусилитель имеет следующие параметры:

Отношение сигнал/шум, дБ	75
Усиление сигнала на частоте 1 кГц, дБ .	40
Отклонение частотной характеристики от ГОСТ 7893-72 дБ, не более	1
Полоса воспроизводимых частот, Гц . . .	20—20 000
Коэффициент гармонических и интермодуляционных искажений, %, не более . .	0,1
Чувствительность, мВ	3
Входное сопротивление, кОм	47

Схема представляет собой двухкаскадный усилитель с емкостной связью. Необходимая частотная коррекция осуществляется цепью обратной связи, подаваемой с выхода усилителя в катод первого триода. Конденсатор C_3 определяет спад частотной характеристики на частотах выше 1 кГц. Цепь C_2R_9 формирует характеристику в области низких частот.

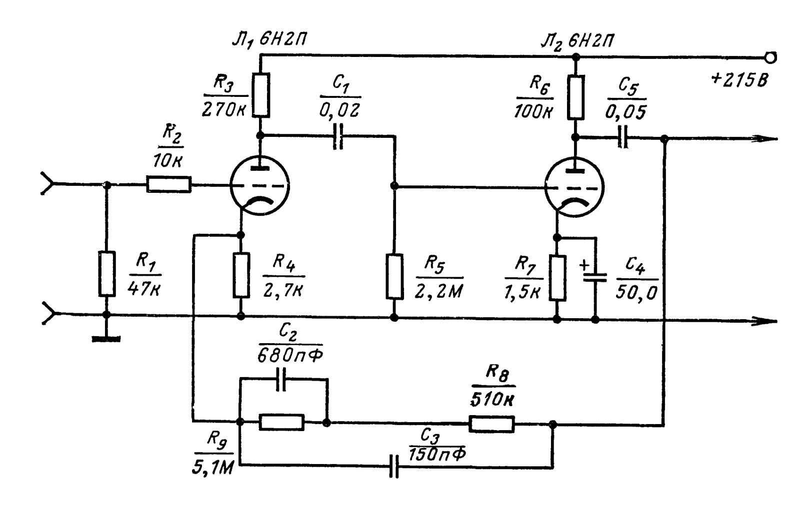


Рис. 4.

Для получения низкого уровня фона накал ламп питается от выпрямителя с двухзвенным фильтром. Напряжение накала должно составлять 5,7—6,0 В.

Собранный усилитель необходимо наладить. Если лампа исправна, то режим постоянного тока обычно устанавливается автоматически. Однако, имея в виду существенный разброс ламп по крутизне, элементы цепи частотно-зависимой обратной связи необходимо подобрать с учетом влияния их на частотную характеристику усилителя. Для максимального снижения шумов целесообразно подобрать лампу. Предусилитель-корректор, собранный по приведенной схеме, допускает более чем 50-кратные перегрузки по входу, что очень важно для правильного воспроизведения реального звукового сигнала, носящего пиковый характер.

Еще более высокие параметры можно получить, собрав предусилитель-корректор на двух сверхминиатюрных металлокерамических лампах 6С62Н. Применение лампы 6С62Н позволяет дополнительно снизить уровень шумов. Габариты лампы малы (диаметр 9,5, высота 15 мм), таким образом предусилитель значительно уменьшается в размерах и, следовательно, упрощается вопрос его экранировки. Лампа 6С62Н не склонна к микрофонному эффекту: ее конструкция обеспечивает снижение всех составляющих шумов, кроме одной, обусловленной емкостью подогреватель — управляющая сетка. Однако эту составляющую можно значительно снизить, установив

в цепи источник сигнала — управляющая сетка лампы разделительный конденсатор емкостью 0,25—0,5 мкФ.

Предусилитель-корректор, собранный по приведенной схеме, можно использовать не только в составе высококачественных УНЧ, но и как самостоятельный блок, например для записи с грампластинки на магнитофон. В этом случае, учитывая, что выход у рассмотренного корректора высокоомный (сопротивление нагрузки не менее 500 кОм), можно рекомендовать ввести третий каскад на катодном повторителе. Обладая низким выходным сопротивлением, он даст возможность не только сохранить частотную характеристику, но и снизить наводки на соединительный кабель.

Схемы входных каскадов для радиоприемников и линейных выходов магнитофонов

Высокий уровень усиливаемого сигнала и отсутствие необходимости его частотной коррекции существенно упрощает задачу конструирования этих каскадов. Обычно входным каскадом для радиоприемника и магнитофона является первый каскад универсального УНЧ. Кроме того, в ламповых УНЧ этому каскаду отводится роль входного для пьезоэлектрической головки звукоснимателя. Однако все технические требования, предъявляемые к входным каскадам для других источников сигнала, распространяются и на этот каскад, а использование его в качестве входного каскада для пьезоэлектрической головки добавляет еще одно условие — высокое входное сопротивление, необходимое для согласования выходного сопротивления головки.

Прежде всего о выборе лампы для этого каскада. Как уже говорилось, каскад является первым в универсальной части УНЧ. В подавляющем большинстве схем он имеет усиление в несколько десятков раз. И чем оно больше, тем лучше отношение сигнал/шум. С этой точки зрения выгоднее применять пентоды, но они имеют значительно большие собственные шумы, чем триоды. Кроме того, выходное сопротивление пентодов выше, чем у триодов, а если учесть, что обычно за первым каскадом следует блок регулировки тембра, обладающий низким входным сопротивлением, то такая схема не обеспечивает возможности оптимального согласования, что приведет к сужению реального диапазона регулировок тембра. Именно поэтому в подавляющем большинстве УНЧ в первом каскаде универсальной части устанавливают триоды, причем распространение получили такие «не низкочастотные» лампы, как 6Н3П, 6Н23П и т. п.

С появлением специального малошумящего пентода 6Ж32П стало возможным построить входной каскад, удовлетворяющий большинству предъявляемых к нему требований и дающий весьма большое усиление.

На рис. 5 изображены схемы входных каскадов универсальных усилителей на триодах. Как видно, схемы отличаются только типом применяемых ламп и способами подачи смещения на управляющую сетку. Простейшей является схема рис. 5, *а*. Она обладает высоким входным сопротивлением, но выбор оптимального режима работы лампы затруднен. Перегрузочная способность низкая. Схема рис. 5, *б* является наиболее совершенной и получила широкое распространение. Установка в катод лампы не зашунтированного емкостью

резистора создает местную обратную связь, снижающую гармонические искажения, увеличивающую входное сопротивление и расширяющую амплитудно-частотную характеристику каскада.

Схемы имеют примерно одинаковые параметры, однако предпочтение следует отдать схеме рис. 5, *б*, так как использование в ней триода 6Н23П дает возможность получить уровень шума ниже 80 дБ. Применяя триод 6Н3П, при выборе его режима надо учесть, что минимума шумов у него добиваются уменьшением анодного тока

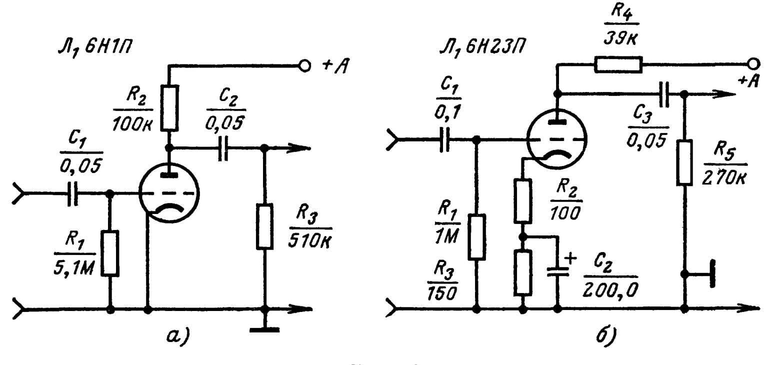


Рис. 5.

и увеличением напряжения накала. Оптимальным является режим, при котором напряжение на аноде составляет 40—60 В, а напряжение накала 6,8—7 В.

На рис. 6 изображена схема входного каскада для подключения магнитофона и радиоприемника (первого каскада универсально-

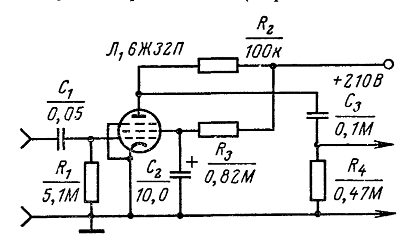


Рис. 6.

го УНЧ) на пентоде 6Ж32П. Схема при правильном согласовании ее с последующим каскадом дает усиление более 200, имеет гармонические искажения менее 0,15% и уровень собственного шума —75 ДБ.

Монтаж и наладка ламповых схем

Качество работы входных каскадов и такие параметры, как полоса воспроизводимых частот, отношение сигнал/шум, определяются

не только схемотехникой. Значительная роль принадлежит правильному монтажу и наладке этих каскадов.

Прежде всего о борьбе с фоном переменного тока. Накал ламп входных каскадов высококачественных усилителей, как правило, питается выпрямленным и отфильтрованным током, причем использование в качестве одного из проводов шасси категорически запрещается. При питании накала ламп переменным током параллельно этой цепи подключают переменный резистор сопротивлением около 100 Ом. Подвижный контакт резистора соединяют с заземляющей шиной. Хорошие результаты дает подача на подвижный контакт положительного напряжения от 20 до 30 В. Передвигая контакт, можно добиться минимума фона. Провода накала должны быть свиты, причем их надо либо вести с наружной стороны шасси, пропуская под шасси только вблизи лампы, либо надеть на них экранирующую оплетку. Фон может быть следствием пульсации напряжения питания анодно-экранных цепей ламп.

Для снижения пульсации анодного напряжения следует повышать коэффициент сглаживания фильтров питания, включать развязывающие фильтры с большей постоянной времени. Последнее сейчас не вызывает особых трудностей, так как промышленностью выпускаются высоковольтные электролитические конденсаторы емкостью от нескольких десятков до сотен микрофарад.

Необходимо помнить, что точка заземления входного каскада должна быть физически одна. Это значит, что все цепи, требующие соединения с землей, подводятся к одной точке на общей шине заземления усилителя. Часто забывают о конденсаторе развязки анодного (экранного) питания и соединяют его корпус с общей шиной заземления просто в ближайшей от него точке, что вызывает существенное увеличение уровня фона. Нельзя также сначала соединять заземляемые концы сеточного резистора и катодного, а потом уже одним (даже очень коротким) проводом подводить к общей шине.

Часто источником фона являются разделительные конденсаторы (реже сопротивления утечки сетки). В связи с этим необходимо все разделительные конденсаторы, а также конденсаторы, формирующие частотные характеристики каскадов, обернуть сначала изоляционным материалом, а поверх надеть металлические экраны (медь, сталь, латунь). Эти экраны отдельным проводом должны быть соединены с общей точкой заземления каскада. Естественно, что сеточные цепи входных каскадов так же тщательно экранируются, причем экран ни в коем случае не используется в качестве второго (земляного) провода.

Широкая полоса пропускания усилителя может быть получена только при соблюдении определенных правил монтажа и наладки каскада. Так, категорически нельзя допускать сближение сеточных и анодных цепей каскада. Обычно для уменьшения емкости сетка— анод лампы между этими электродами на панельке устанавливают небольшие экраны.

Все приведенные схемы начинают работать практически сразу. Однако для получения минимальных искажений и собственных шумов в ряде случаев требуют определенной наладки. В основном она сводится к подбору режима работы ламп. Способы установки режимов многократно описывались в литературе. Однако надо запомнить два положения: первое, что с увеличением напряжения накала уровень шума уменьшается, а уровень фона переменного тока увеличивается, и второе, что с уменьшением анодного тока шумы лампы сни-

жаются, а выходное сопротивление растет. Поэтому в каждом конкретном случае надо находить оптимум этих величин.

СХЕМЫ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Предусилитель для микрофона

Схемотехнические решения, реализующие требования, предъявляемые к микрофонным предусилителям на транзисторах, не отличаются особым разнообразием. В подавляющем большинстве это двухтранзисторные схемы с гальванической связью между каскада-

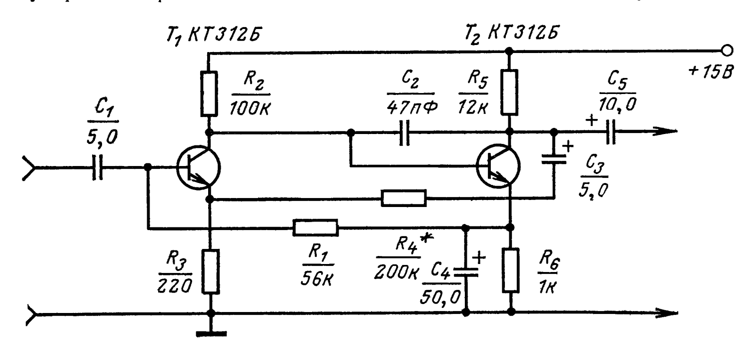


Рис. 7.

ми. Если в ламповых схемах одним из сложных вопросов является борьба с фоном переменного тока из-за влияния цепи накала на сеточную цепь, то в транзисторных он существенно упрощается и все внимание конструктора сосредоточивается на снижении собственных шумов предусилителя.

Учитывая, что усиления предусилителя для микрофона и электромагнитной головки приблизительно равны, некоторые конструкторы используют для источников сигнала один общий предусилитель, вводя в него коммутируемые цепи коррекции амплитудно-частотной характеристики. Однако рекомендовать такой подход для радиолюбительской практики вряд ли целесообразно. Усложнение переключающих устройств обычно приводит к появлению различных наводок, уменьшению переходного затухания между каналами и другим отрицательным явлениям.

На рис. 7 показана схема микрофонного предусилителя, которую можно считать типовой. Она содержит два гальванически связанных каскада усиления на кремниевых транзисторах КТ312Б. Цепь обратной связи (с эмиттера транзистора T_2 через резистор R_1 на базу первого транзистора) жестко стабилизирует рабочие точки транзисторов при изменении окружающей температуры. Вторая цепь обратной связи (с коллектора транзистора T_2 в эмиттер транзистора T_1) обеспечивает необходимое усиление и снижает гармонические искажения усиливаемого сигнала. Конденсатор C_2 предотвращает воз-

можность самовозбуждения предусилителя на частотах выше 20 000 Гц. Для получения требуемого усиления коэффициенты передачи тока базы транзисторов должны быть больше 100. Для снижения собственных шумов целесообразно подобрать первый транзистор по минимальному обратному току коллектора.

Предусилитель имеет следующие параметры: амплитудно-частотная характеристика линейна в диапазоне частот 20—20 000 Гц с неравномерностью ±1 дБ; коэффициент усиления около 50 дБ; отно-

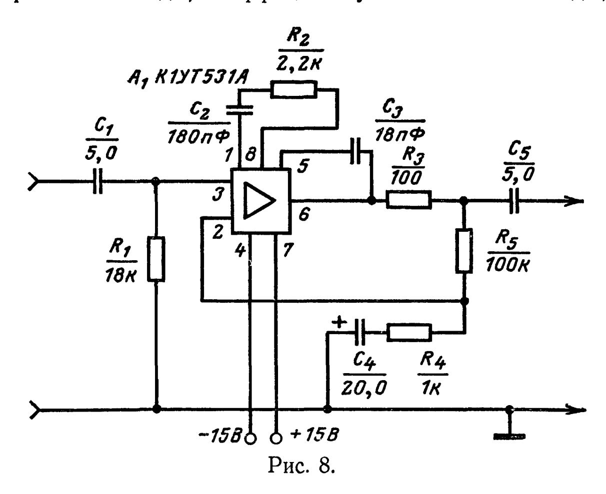


Рис. 8.

шение сигнал/шум 65 дБ; номинальная чувствительность 1,5 мВ; возможная перегрузка по входу около 14 дБ; гармонические искажения менее 0,2%.

Последнее время все большее внимание радиолюбителей привлекает возможность использования в своих конструкциях интегральных микросхем. Этому способствует постоянно расширяющая номенклатура этих схем, их электрические и механические характеристики. Они компактны, не прихотливы в монтаже и наладке, стоимость их не велика.

Схема микрофонного предусилителя на микросхеме К1УТ531А изображена на рис. 8. Усилитель охвачен петлей обратной связи через резистор R_5. Коррекция амплитудно-частотной характеристики в области высших частот осуществляется цепочкой R_2C_2 и конденсатором C_3. Питание предусилителя осуществляется от двухполярного источника. Схема обеспечивает равномерное усиление в диапазоне частот 20—30 000 Гц. Коэффициент гармоник менее 0,1; отношение сигнал/шум 60 дБ; входное сопротивление около 18 кОм.

Схемы предусилителей-корректоров для электромагнитных звукоснимателей

Из многообразия схем предусилителей-корректоров на транзисторах можно выделить две группы. К первой относятся предусилители на двух транзисторах, каждый из которых работает в режиме

усиления, ко второй — устройства на трех и более транзисторах. Правда, существуют предусилители, в которых все необходимое усиление достигается от одного транзистора. Наибольшее распространение получили схемы на двух транзисторах с гальванической связью между каскадами. Они легко обеспечивают нужное усиление и коррекцию амплитудно-частотной характеристики записи, просты в наладке и изготовлении.

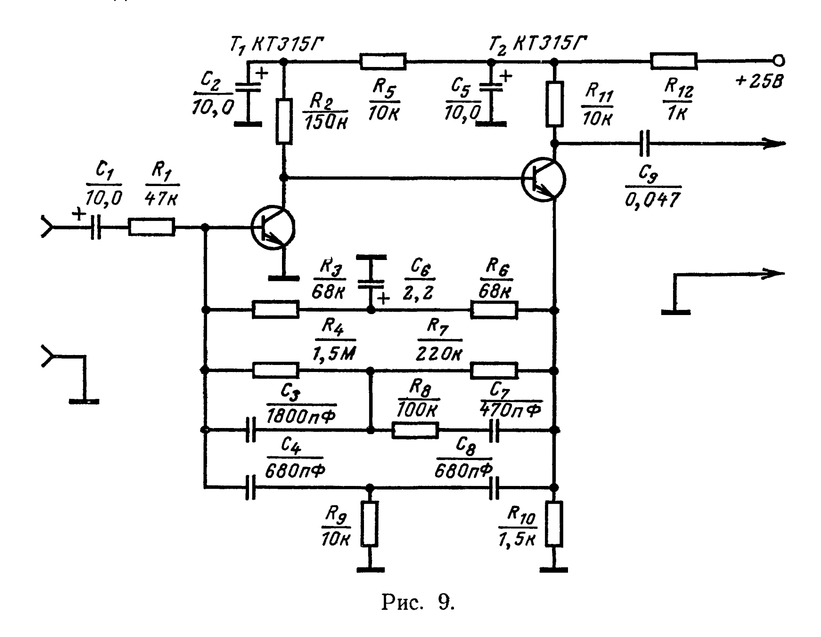


Рис. 9.

Стремление конструкторов стабилизировать выходное сопротивление предусилителей по частоте привело к созданию устройств на трех транзисторах. Третий транзистор устанавливают на выходе предусилителя. В основном он служит для оптимального согласования выходного сопротивления предусилителя с входным сопротивлением универсального усилителя.

Постоянное совершенствование схемотехники предусилителей привело к использованию новой элементной базы — интегральных микросхем. Использование микросхем существенно упрощает и сокращает время монтажа и наладки схем, повышает их надежность. Однако не надо забывать, что обычно в микросхемах число активных элементов значительно больше, чем в аналогичных схемах на дискретных элементах, а отсюда и некоторое ухудшение отношения сигнал/шум.

Рассмотрим несколько наиболее типичных схем предусилителей-корректоров. На рис. 9 представлена схема предусилителя на кремниевых транзисторах КТ315Б. Для получения необходимых характеристик коэффициенты передачи тока базы транзисторов должны составлять 150—200. Обратный ток коллектора (особенно транзистора

первого каскада) должен быть минимальным. Связь между каскадами — гальваническая. Это позволяет получить хорошую частотную и фазовую характеристики.

Смещение на базу транзистора T_1 подается из эмиттерной цепи транзистора T_2 через резисторы R_3 и R_6. Входное сопротивление транзистора T_1 не велико. Для его увеличения в цепь базы введен резистор R_1, сопротивлением которого и определяется входное сопротивление предусилителя. Такое схемное решение позволяет со-

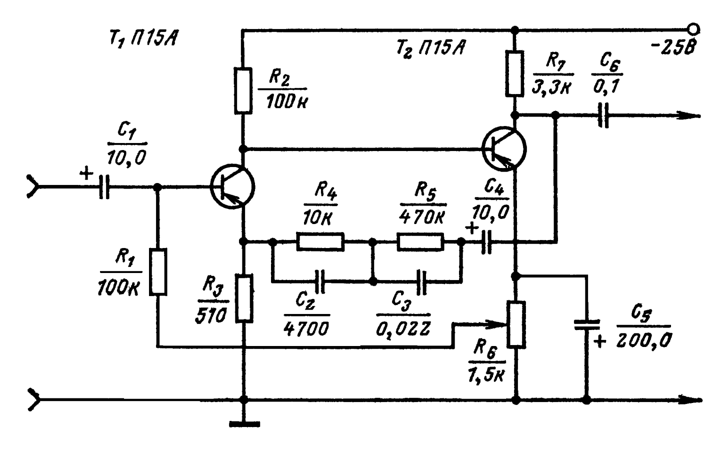


Рис. 10.

хранить неизменным входное сопротивление в широком диапазоне частот. Питание предусилителя осуществляется от источника тока напряжением 24—25 В через развязывающие фильтры C_2R_5 и C_5R_{12}.

Коррекция частотной характеристики осуществляется цепью обратной связи (эмиттер транзистора T_2 — цепь базы транзистора T_1). Элементы коррекции обеспечивают резкое падение усиления на частотах ниже 40 Гц, что значительно снижает шумы, создаваемые вибрацией двигателя.

Предусилитель, построенный по этой схеме, обладает следующими параметрами:

Полоса воспроизводимых частот, Гц . . .	30—16 000
Коэффициент нелинейных искажений, % .	0,2
Неравномерность усиления каналов, дБ . .	2
Отношение сигнал/шум, дБ	65
Усиление на частоте 1 кГц, дБ	40
Входное сопротивление, кОм	47
Рекомендуемое сопротивление нагрузки, кОм	200
Максимальное входное напряжение, мВ . .	100

Схема второго предусилителя изображена на рис. 10. Предусилитель построен на германиевых транзисторах типа П15А. Коэффициент передачи тока базы этих транзисторов около 150. Связь между каскадами, так же как и в первой схеме, гальваническая. Смещение

на базу первого транзистора подается с движка резистора R_6. Положение подвижного контакта резистора R_6 определяет рабочую точку транзистора T_1. Коррекция частотной характеристики производится резисторами R_4 и R_5 и конденсаторами C_2 и C_5. Питание схемы осуществляется от источника тока напряжением 24—25 В.

Предусилитель, изображенный на этой схеме, имеет следующие параметры:

Полоса воспроизводимых частот, Гц . . .	20—20 000
Коэффициент нелинейных искажений, % .	0,2
Неравномерность усиления каналов, дБ . .	1
Отношение сигнал/шум, дБ	70
Усиление на частоте 1 кГц, дБ	28
Входное сопротивление, кОм	47
Рекомендуемое сопротивление нагрузки, кОм	100
Максимальное входное напряжение, мВ . .	100

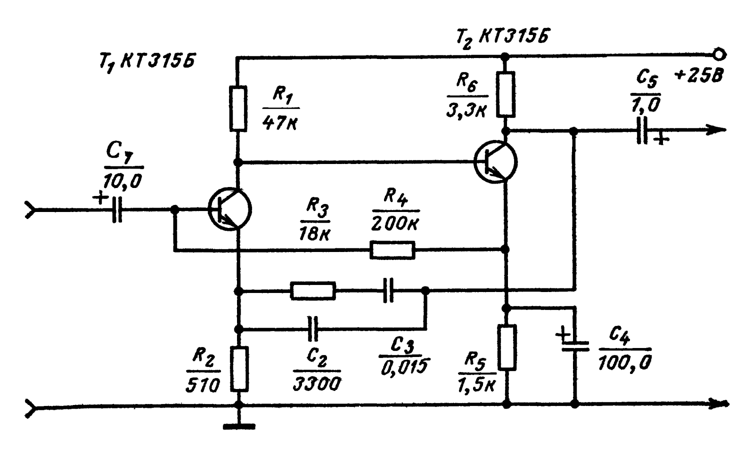


Рис. 11.

Самая простая схема у следующего предусилителя-корректора (рис. 11). Он собран на двух транзисторах КТ315Б. Коэффициент передачи их должен быть не ниже 200. Схема очень напоминает схему второго предусилителя и практически отличается от нее цепями коррекции. Подбором резистора R_4 устанавливают рабочую точку первого транзистора.

Предусилитель питается от источника тока напряжением 24—25 В. Однако он может работать и при снижении напряжения питания до 12—15 В. При этом необходимо подобрать сопротивление резистора R_4.

Все параметры предусилителя аналогичны параметрам второго предусилителя. Исключение составляют полоса воспроизводимых частот, равная 20—20 000 Гц, и отношение сигнал/шум, равное —75 дБ.

На рис. 12 дана схема предусилителя-корректора на микросхеме К1УТ531А. Требуемая амплитудно-частотная характеристика формируется цепью частотно-зависимой обратной связи R_5C_5, R_6C_6. Цепь R_3C_4 определяет глубину обратной связи. Конденсатор C_2 и резистор R_2 предотвращают возможное самовозбуждение на ультразвуковых частотах. Питание осуществляется от двухполярного источника тока напряжением ±15 В.

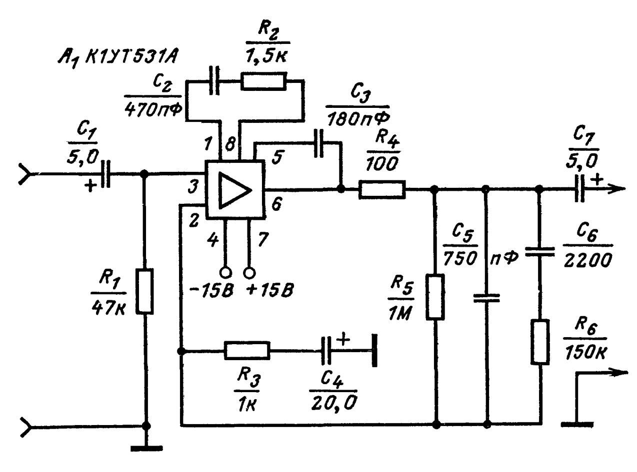


Рис. 12.

Данный предусилитель обеспечивает коэффициент гармоник выходного сигнала, не превышающий 0,1%, уровень шума —50 дБ и перегрузку по входу 14—15 дБ. Входное сопротивление предусилителя определяется сопротивлением резистора R_1 и составляет 47 кОм. Амплитудно-частотная характеристика соответствует требованиям ГОСТ 7893-72 в интервале частот от 30 до 15 000 Гц с неравномерностью 1,5 дБ.

Собранный предусилитель должен быть налажен. Прежде чем установить транзисторы в схему, они должны быть подобраны в пары по коэффициентам передачи (один из транзисторов пары устанавливают в левый канал, а другой — в правый) с точностью 5%. Рекомендуется также подобрать в пары конденсаторы и резисторы цепей коррекции. Точность подбора должна быть не хуже 2%. Остальные резисторы и конденсаторы могут иметь отклонение 5% от номинальных значений.

В любительской практике самым простым методом проверки правильности частотной характеристики предусилителя является использование в качестве источника звукового сигнала измерительной грампластинки, например, фирмы «Мелодия» МУ331/3 (33,3/ЭТ05514/2-4) с записью по стандартной характеристике. Метод этот дает возможность измерять характеристику системы: конкретная электромагнитная головка — предусилитель — корректор. Это позволяет скорректировать отклонения в частотной характеристике конкретной головки.

К выходу предусилителя подключается милливольтметр. Параллельно с ним необходимо включить резистор — эквивалент нагрузки. Сопротивление его зависит от конкретной схемы и может колебаться от 100 до 200 кОм. К входу предусилителя подключается головка звукоснимателя. Затем на предусилитель подается питание. Звукосниматель устанавливают на грампластинку и снимают частотную характеристику. Она должна иметь вид горизонтальной линии в пределах от 30 Гц до 18 кГц. Допустимые отклонения не должны превышать 1,5 дБ. При большом отклонении необходимо подобрать сопротивления резисторов и конденсаторов в цепях коррекции.

Схемы предусилителей для пьезоэлектрической головки

Если в ламповых усилителях не возникает особых сложностей с согласованием выходного сопротивления пьезоэлектрической головки с входным сопротивлением каскада, на который она нагружена, то при создании транзисторного УНЧ это согласование затруднено. Существует два подхода к построению схемы предусилителей для пьезоэлектрической головки. Первый заключается в использовании уси-

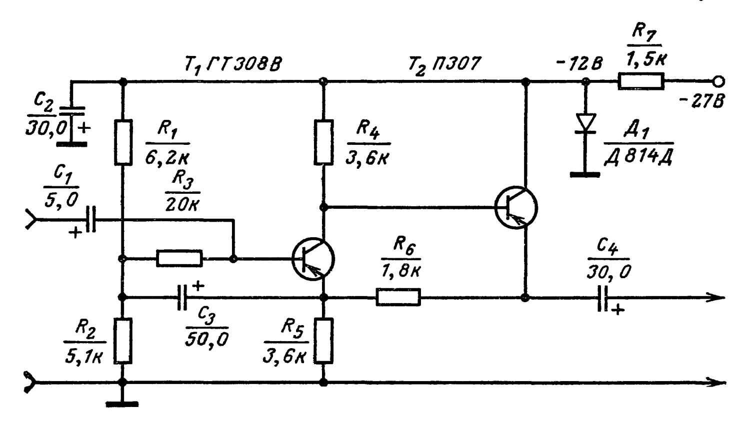


Рис 13.

лителей с небольшим усилением и входным сопротивлением на низших частотах 1,5—2 кОм. При втором, наоборот, головка работает на низкое входное сопротивление первого каскада. При этом уже нужен усилитель не согласующий, а корректирующий. Головка в таких схемах работает как генератор тока. Наибольшее распространение получил второй подход, позволяющий улучшить равномерность частотной характеристики головки и расширить диапазон воспроизводимых частот. Кроме того, использование таких схем позволяет снизить уровень электромагнитных наводок на соединительный кабель.

На рис. 13 представлена схема согласующего предусилителя (разработана Г. Л. Левинзоном и А. В. Логиновым). Первый каскад собран по схеме, обеспечивающей высокое входное сопротивление за счет действия положительной обратной связи, подаваемой с эмит-

тера транзистора в точку соединения резисторов R_1—R_3. Входное сопротивление предусилителя на частоте 1 кГц составляет 2 мОм. Выходное сопротивление менее 100 Ом, что позволяет успешно согласовать этот предусилитель практически с любым универсальным усилителем. Глубокая отрицательная обратная связь делает мало заметной смену транзисторов и снижает нелинейные искажения.

На рис. 14 представлена схема предусилителя-корректора (конструктор Ю. Птшенчук), в которой реализован принцип работы

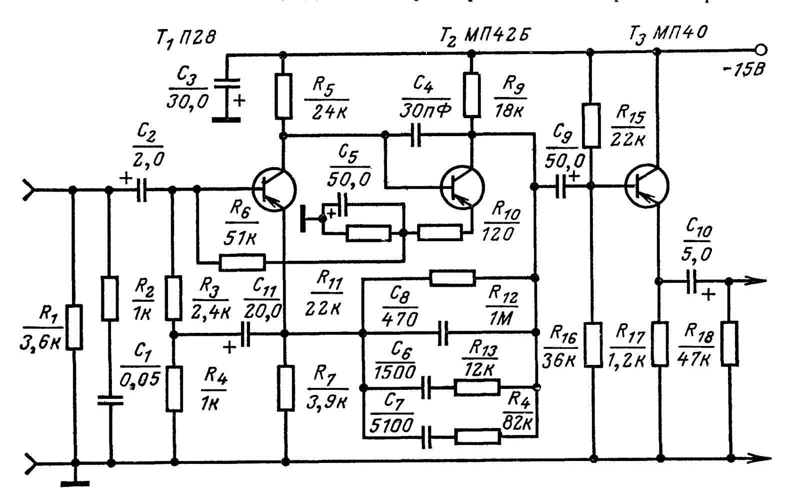


Рис. 14.

пьезоэлектрической головки в режиме генератора тока. Схема трехкаскадная. Первые два каскада связаны гальванически и работают в режиме усиления. Третий каскад — согласующий и выполнен по схеме эмиттерного повторителя. Схема обеспечивает жесткую стабилизацию режима первых двух каскадов за счет обратной связи, подаваемой из эмиттера транзистора T_2 через резистор R_6 на базу транзистора T_1. Требуемая частотная коррекция осуществляется цепью обратной связи с коллектора транзистора T_2 в эмиттер транзистора T_1, через резисторы R_{12}—R_{14} и конденсаторы C_6—C_8. Цепь R_2C_1, шунтирующая головку, так же является элементом частотной коррекции.

При использовании головки ГЗМ-62М схема обеспечивает следующие параметры:

Полоса воспроизводимых частот при неравномерности ±2,5 дБ, Гц	40—14 000
Входное сопротивление, кОм	3
Выходное сопротивление, Ом	500
Отношение сигнал/шум, дБ	57

Если установить в схеме транзисторы T_1 и T_2 типа П416Б, то можно улучшить отношение сигнал/шум, доведя его до —63 дБ.

Интересна схема согласующего предусилителя, представленная на рис. 15. Это обычный эмиттерный повторитель. Благодаря использованию микротокового режима и малошумящего транзистора типа П416Б он обладает уровнем шумов ниже 60 дБ. Его входное сопротивление весьма высоко и в основном определяется сопротивлением резистора R_1. Низкое выходное сопротивление позволяет снизить паразитное влияние емкости соединительных проводов и расширить амплитудно-частотную характеристику в области высших частот,

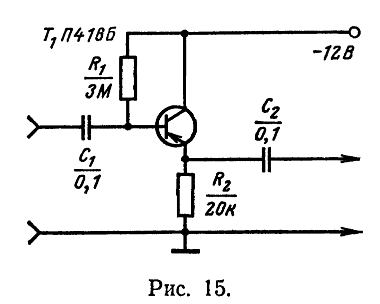


Рис. 15.

а высокое входное сопротивление — в области низших частот. Таким образом, несмотря на свою простоту, схема обеспечивает хорошее согласование головки с универсальным усилителем. Однако температурная стабильность ее невысока и уступает стабильности предыдущих предусилителей.

Входные каскады универсальных усилителей

Входной каскад универсального транзисторного усилителя рассчитан на непосредственную работу только от радиоприемника — тюнера. Все остальные источники звукового сигнала имеют свои предусилители, выходное сопротивление которых невелико. Это позволяет снизить требования к входному сопротивлению каскада. В большинстве усилителей оно колеблется от 10 до 100 кОм.

В процессе совершенствования схемотехники использовались и простые схемы с общим эмиттером, в которых необходимое входное сопротивление достигалось установкой в цепь базы (звукового сигнала) резистора, схемы с повышенным входным сопротивлением по переменному току, схемы эмиттерных повторителей и сложные схемы на нескольких транзисторах и т. д.

Рассмотрим некоторые из них. На рис. 16 представлена схема входного каскада универсального усилителя. Как видно из рисунка, это усилительный каскад с низким входным сопротивлением. Установка в цепи базы транзистора T_1, резистора R_1 позволяет получить нужное входное сопротивление каскада. Естественно, что при таком способе резко снижается усиление каскада и ухудшается отношение сигнал/шум.

Если требуемое входное сопротивление каскада не превышает 10 кОм, то можно рекомендовать включить в цепь эмиттера для увеличения входного сопротивления не зашунтированный конденсатором резистор, т. е. ввести обратную связь по току,

В рассмотренной схеме смещение на базу задается делителем напряжения, который шунтирует и без того малое сопротивление эмиттерного перехода транзистора. С точки зрения получения высокой термостабильности каскада желательно, чтобы ток через делитель был больше, а в то же время для увеличения входного сопротивления он должен быть небольшим. Поэтому в каждом конкретном случае приходится искать компромиссное решение.

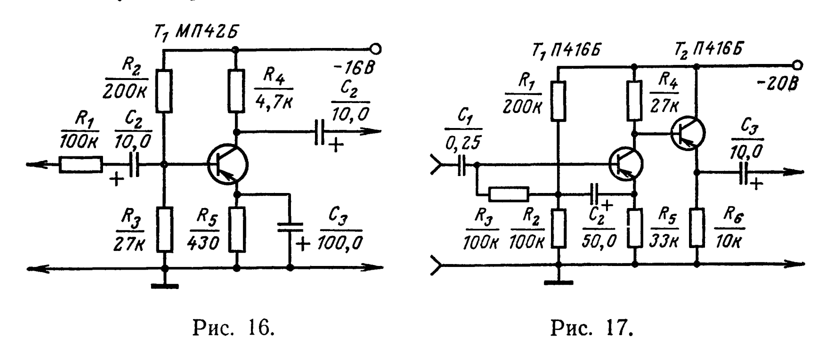


Рис. 16. Рис. 17.

Существенно повысить входное сопротивление каскада можно, использовав обратную связь по переменному току, например по схеме, изображенной на рис. 17. Для устранения шунтирующего действия базового делителя на резисторах R_1 и R_2 в схему вводится дополнительный резистор R_3. Через конденсатор C_2 переменный потенциал эмиттера подается в точку соединения резисторов R_1—R_3. Поскольку переменные напряжения на базе и эмиттере синфазны, то к резистору R_3 через конденсатор C_2 приложено переменное напряжение, падающее на переходе эмиттер — база. Обычно это напряжение мало и составляет десятые доли вольта, поэтому и переменный ток, проходящий через резистор R_3, относительно мал.

Сопротивление резистора R_3 для переменного тока (звукового сигнала) при этом оказывается велико, а для постоянного тока остается прежним. В итоге сопротивление перехода эмиттер—база по переменному току возрастает. Для полосы частот 50—60 кГц вместо входного сопротивления в несколько килоом можно получить входное сопротивление в несколько десятков и даже сотен килоом. В целях повышения коэффициента усиления каскад нагружен на эмиттерный повторитель, позволяющий получить низкое выходное сопротивление. Так, при использовании транзисторов с коэффициентами передачи тока базы около 100 каскад имеет входное сопротивление 500 кОм, выходное — менее 1 кОм, коэффициент усиления около двух, уровень собственных шумов ниже — 80 дБ. Коэффициент гармонических искажений менее 0,1%.

В последние годы наибольшее распространение получили предусилители на двух кремниевых транзисторах с высокими коэффициентами передачи тока. На рис. 18 приведена наиболее типичная схема. Она достаточно сложна и напоминает схемы корректирующих предусилителей. Однако, несмотря на сложность, такое устройство почти не требует наладки и обладает высокой термостабильностью.

За счет применения нескольких цепей обратной связи предусилитель не чувствителен к смене транзисторов. Он обладает большим усилением; использование микротокового режима для первого транзистора позволяет получить низкий уровень шумов (ниже —80 дБ). Выходное сопротивление выше, чем у предыдущего предусилителя, но

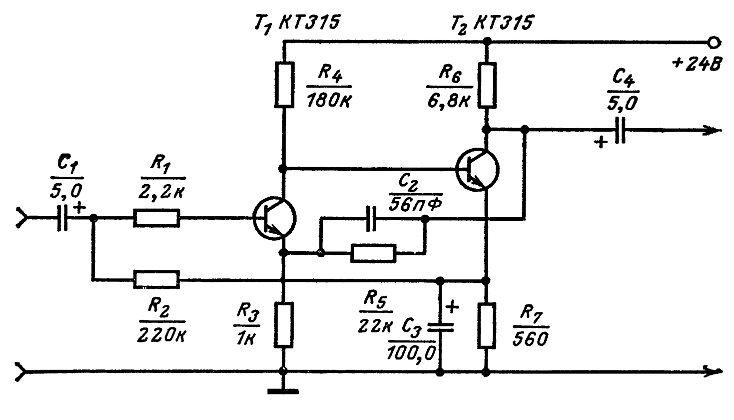


Рис. 18.

достаточно для хорошего согласования с последующим каскадом (около 6 кОм). Конденсатор C_2 корректирует амплитудно-частотную характеристику каскада в области высших частот. Частотная характеристика линейна в диапазоне частот от 10 Гц до 60 кГц. Коэффициент гармонических искажений не превышает 0,1%.

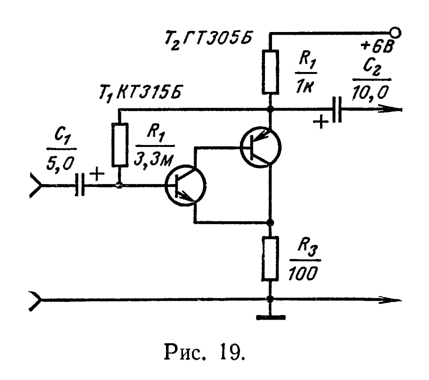


Рис. 19.

Представляет интерес схема входного каскада (рис. 19) на транзисторах разной проводимости. Схема проста, обеспечивает высокое входное сопротивление (около 200 кОм) и низкое выходное (1 кОм). Уровень шума при правильном подборе первого транзистора менее 80 дБ. Отрицательная обратная связь, которой охвачены оба каскада, снижает гармонические искажения и повышает термостабильность. Номинальное напряжение на входе 150 мВ. Недостатком схемы является ее малая перегрузочная способность по входу.

Монтаж и наладка входных каскадов на транзисторах

Как правило, схемы устройства на транзисторах монтируют на печатных платах. Так как в любительской практике при наладке

приходится часто подбирать отдельные элементы схем, то можно рекомендовать в отверстия в плате под эти элементы вставить и развальцевать специальные пистоны и уже к ним подпаивать детали схемы. Учитывая, что перегрев транзисторов при монтаже может не только сильно изменить их параметры, но и вывести из строя, целесообразно в печатную плату впаять широко распространенные панельки и, не подвергая транзистор пайке, только укоротив его выводы до 10—12 мм, вставить в панельку.

Параметры транзисторов даже в пределах одной партии по таким показателям, как коэффициент передачи тока базы, начальный ток и т. д., могут сильно отличаться. Поэтому использование их без предварительного отбора не только может привести к изменению таких показателей схемы, как уровень собственных шумов, коэффициент усиления, но и в ряде случаев просто сделать схему не работоспособной. Учитывая это, помимо обязательного предварительного отбора элементов схемы необходимо каждую из собранных схем отладить. Отладка в основном заключается в подборе коллекторного тока по минимуму шума и гармонических искажений.

Необходимо отдельно остановиться на вопросе питания входных каскадов. Совершенно очевидно, что для снижения уровня фона питающее напряжение должно быть тщательно отфильтровано. Поэтому в развязывающих фильтрах надо применять конденсаторы большой емкости.

Современная элементная база позволяет легко удовлетворить это требование. В распоряжении радиолюбителя сейчас есть малогабаритные конденсаторы емкостью от сотен микрофарад до нескольких тысяч. Но главное требование заключается в стабильности питающего напряжения. Даже небольшие отклонения могут сместить рабочую точку транзистора и увеличить искажения каскада. Именно поэтому надо настоятельно рекомендовать питание входных каскадов от стабилизаторов напряжения. Использование стабилизатора дает возможность не только получить высокую стабильность питающего напряжения, но и одновременно дополнительно отфильтровать его. При этом надо учитывать, что выходное сопротивление стабилизатора весьма низкое, а это позволяет (без опасности возбуждения) расширить амплитудно-частотную характеристику каскада.

СХЕМЫ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Особенности полевых транзисторов и их применения

Полевые транзисторы пока не получили широкого применения в любительских конструкциях. Это объясняется, с одной стороны, их дефицитностью, а с другой, малым количеством практических схем и почти полным отсутствием методик расчета таких схем. В то же время именно применение полевых транзисторов, в частности, во входных каскадах высококачественных УНЧ позволяет добиться еще более высоких параметров, чем в усилителях на биполярных транзисторах.

Отличительными особенностями полевых транзисторов являются их крайне низкий уровень собственных шумов и высокое входное сопротивление. Выше уже говорилось о том, что вопрос температурной

стабилизации транзисторов очень серьезен и важен. Практически полной термостабильности в схемах на биполярных транзисторах достигнуть нельзя. Полевые транзисторы позволяют реализовать полную термостабильность каскада. Дело в том, что при определенном выборе режима ток стока полевого транзистора перестает зависеть от температуры окружающей среды. При повышении температуры происходит взаимная компенсация двух процессов, проходящих одновременно. Уменьшение удельной проводимости канала и соответственно уменьшение тока стока происходит одновременно с уменьшением контактной разности потенциалов на *р-п* переходе затвор—канал, что влечет за собой расширение проводящей части канала и увеличение тока стока.

В отличие от биполярных транзисторов, у которых при повышении окружающей температуры коллекторный ток растет, у полевых транзисторов ток стока в зависимости от установленного режима может увеличиваться, уменьшаться или оставаться постоянным.

Еще одним достоинством полевых транзисторов является более медленный, чем у биполярных, рост гармонических искажений при увеличении сигнала на входе. Это очень важно, особенно для каскадов, не имеющих регулировки уровня входного сигнала, например в корректирующих предусилителях для электромагнитных головок, в микрофонных усилителях и т. п.

Недостатком полевых транзисторов, особенно типа КП102, КП103, являются большие емкости затвор — исток и затвор — сток, которые шунтируют входное сопротивление каскада. Влияние этих емкостей начинает сказываться с частот 15—20 кГц.

Учитывая то, что полевой транзистор — элемент достаточно дорогой и очень чувствительный к перегреву и статическим зарядам, при монтаже устройств на полевых транзисторах необходимо соблюдать определенные правила предосторожности. Пайка выводов транзисторов допускается в течение не более 3 с на расстоянии от корпуса не менее 10 мм паяльником, мощность которого не превышает 60 Вт. Температура плавления припоя не должна превышать 260 °С. Минимальное расстояние от корпуса транзистора до изгиба выводов не менее 3 мм. Жало паяльника должно быть заземлено. Перед установкой транзистора на плату (его крепят после монтажа всех остальных деталей) необходимо соединить с общим проводом все отверстия под выводы транзистора. В противном случае накопленное при монтаже на элементах схемы статическое электричество повредит переход транзистора. Как и в конструкциях на биполярных транзисторах при использовании полевых целесообразно применять панельки. Это не только предохранит транзисторы, но и облегчит их подбор.

Схемы входных каскадов на полевых транзисторах

На рис. 20 приведена схема двухкаскадного предусилителя-корректора для электромагнитной головки. Связь между каскадами — емкостная. Это позволяет легко подбирать оптимальные режимы для каждого транзистора.

Введение в цепь истока не зашунтированного емкостью резистора R_5 линеаризирует характеристику транзистора. Цепочка $R_{12}R_{13}C_6C_7$ в цепи обратной связи (с выхода второго каскада в исток первого) формирует необходимую амплитудно-частотную характеристику

предусилителя. Следует учитывать, что существенный разброс параметров (особенно крутизны передачи) полевых транзисторов делает необходимым индивидуальный подбор элементов цепи частотно-зависимой обратной связи. Иногда бывает необходимо подобрать сопротивление резистора R_5.

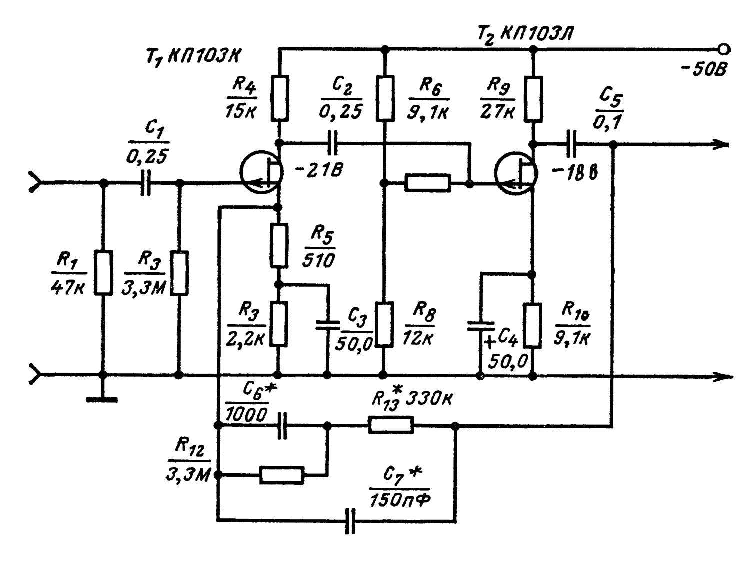


Рис. 20.

Сконструированный по приведенной схеме предусилитель-корректор имеет следующие параметры:

Отклонение частотной характеристики от стандартной в диапазоне частот 30—15 000 Гц, дБ	1,5
Коэффициент гармонических искажений, %	0,1
Входное сопротивление, кОм	47
Допустимая перегрузка по входному сигналу, дБ	30
Отношение сигнал/шум, дБ	80
Наименьшее рекомендуемое сопротивление нагрузки, кОм	100
Номинальная чувствительность, мВ . . .	2,5

К сожалению, крутизна передачи полевых транзисторов не высока и не позволяет в двухтранзисторной схеме получить необходимый номинальный уровень выходного сигнала. Так, у рассмотренного предусилителя-корректора усиление на частоте 1 кГц составляет 22—25 дБ. Это заставляет увеличивать чувствительность универсального усилителя.

На рис. 21 показана схема входного каскада универсального усилителя. Высокое входное сопротивление дает возможность непосредственного подключения к входу каскада не только выхода

тьюнера, но и звукоснимателя с пьезоэлектрической головкой. Смещение на затвор транзистора подается через резистор R_1. Несмотря на то что такой способ не дает возможности жестко застабилизировать рабочую точку, термостабильность каскада получается вполне удовлетворительной в диапазоне температур от +10 до +35 °С.

В цепь истока введен не зашунтированный емкостью резистор R_3. Образующаяся отрицательная обратная связь линеаризирует характеристику транзистора и снижает гармонические искажения.

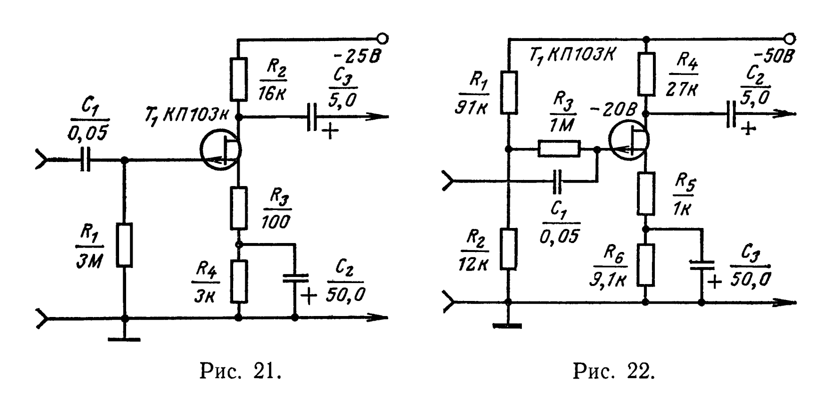


Рис. 21. Рис. 22.

Входной каскад, собранный по схеме рис. 21, обладает следующими параметрами:

Полоса воспроизводимых частот при неравномерности ±1 дБ, Гц	5—25 000
Номинальная амплитуда входного сигнала, мВ	150
Максимальная амплитуда входного сигнала, В	0,7
Коэффициент усиления	10
Входное сопротивление, мОм	2
Выходное сопротивление, кОм	15
Коэффициент гармонических искажений, %	0,1

Каскад, схема которого изображена на рис. 22, имеет примерно такие же параметры, как и предыдущий. Однако за счет изменения схемы подачи смещения на затвор транзистора он обладает существенно большей термостабильностью. Гармонические искажения, вносимые каскадом, составляют сотые доли процента.

Обе схемы обеспечивают получение крайне низкого уровня собственных шумов. Он составляет — 80÷—85 дБ.

На рис. 23 представлена схема входного каскада радиолы «Виктория 001». Как видно из рисунка, каскад содержит три гальванически связанных транзистора. Первый из них — полевой, а два последующих — биполярные кремниевые. Транзистор T_2 является эмиттерным повторителем и служит для согласования высокого выходного сопротивления первого транзистора (около 50 кОм) с низким входным сопротивлением транзистора T_3, включенного по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой этого транзистора по постоянному току являются резисторы R_2 и R_3.

Каскад через резистор R_3 охвачен петлей обратной связи, которая снижает гармонические искажения и выравнивает амплитудно-частотную характеристику в области высших частот. Подстроечный резистор R_2 необходим для установки режима как первого транзистора, так и всей схемы в целом. Амплитудно-частотная характеристика каскада линейна в диапазоне частот 5—50 000 Гц. Неравномерность в этом диапазоне частот не превышает ±1,5 дБ.

Применение глубокой отрицательной обратной связи, кроме того, дает возможность устанавливать в схему любые транзисторы ука-

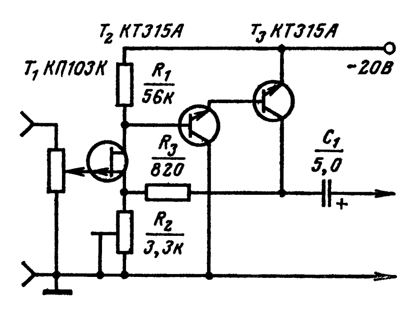


Рис. 23.

занных буквенных серий без предварительного отбора, причем усиление каскада остается в заданных пределах. К недостаткам схемы надо отнести способ подачи смещения на затвор полевого транзистора.

Инженерный расчет каскада на полевом транзисторе

Предлагаемая инженерная методика расчета цепей смещения апериодического усилителя на полевом транзисторе, включенного по схеме с общим истоком, сочетает в себе методы расчета схем на электронных лампах и схем на биполярных транзисторах. Поскольку разброс характеристик полевых транзисторов очень велик, целесообразно использовать графоаналитический метод расчета с учетом наихудшего случая.

На рис. 22 приведена схема усилительного каскада с общим истоком на полевом транзисторе с проводимостью *p*-типа. Расчет усилителя в общем представляет собой математически неопределенную задачу со многими решениями, так как число определяемых неизвестных больше числа уравнений, их связывающих. Вследствие этого в процессе расчета усилителя приходится задаваться определенными значениями некоторых исходных величин, базируясь на опыте предыдущих расчетов схем.

Методика пригодна для расчета смещения каскада на полевых транзисторах как с каналом *p*-типа, так и с каналом *n*-типа и состоит из следующих этапов:

1) выбора типа полевого транзистора, исходя из требуемых частотных и усилительных показателей;

2) выбора напряжения питания каскада

$$U_{пит} \geqslant U_0 + 2U_{макс},$$

где U_0 — напряжение отсечки на стоковой характеристике полевого транзистора; $2U_{макс}$ — удвоенное максимальное значение входного сигнала;

3) выбора сопротивления резистора R_3. В целях снижения нежелательного явления смещения перехода затвор — исток в прямом направлении не рекомендуется увеличивать сопротивление R_3 более 1—2 МОм, тогда $U_{R_3}=0{,}1\div0{,}2$ В;

4) определения положения рабочей точки в режиме покоя по усредненным стоковым характеристикам (рис. 24) при выбранном

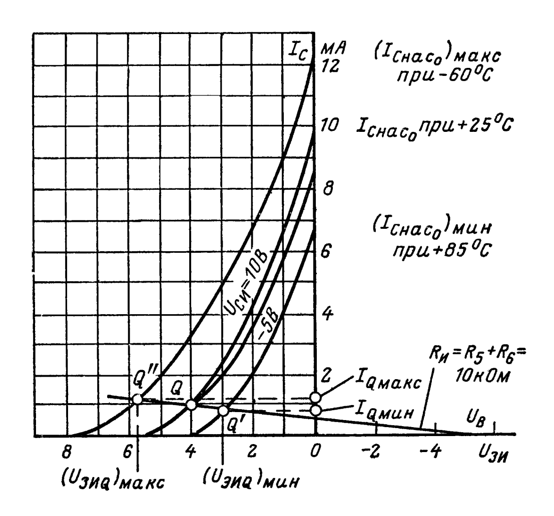


Рис. 24.

сопротивлении в цепи сток — исток ($R=R_4+R_5+R_6$). При этом определяют ток стока I_Q в точке покоя Q, напряжение затвор — исток $U_{ЗИ}$ и сток — исток $U_{СИ}$, соответствующие точке покоя;

5) определения напряжений $(U_{ЗИQ})_{макс}$ и $(U_{ЗИQ})_{мин}$, соответствующих токам $I_{Qмакс}$ и $I_{Qмин}$, по известным усредненным характеристикам передачи транзистора $I_C=f/U_{ЗИ}$, снятым для предельных рабочих температур, например —60÷+85° С.

Необходимое сопротивление резистора в цепи истока $R_И=R_5+R_6$, обеспечивающее требуемую стабильность тока истока, находится из выражения

$$R_И=\frac{(U_{ЗИQ})_{макс}-(U_{ЗИQ})_{мин}}{I_{Qмакс}-I_{Qмин}}.$$

Рекомендуемое соотношение между сопротивлениями резисторов: $R_5\approx(0{,}1\div0{,}2)R_6$.

Падение напряжения на резисторе R_2 определяется по формуле

$$U_{R_2} = \frac{(U_{ЗИQ})_{мин}\, I_{Qмакс} - (U_{ЗИQ})_{макс}\, I_{Qмин}}{I_{Qмакс} - I_{Qмин}};$$

6) определения напряжения исток — земля $U_{ИЗ}=I_Q R_И$, исходя из того, что $R_И \approx (0{,}2 \div 0{,}3)R$;

7) окончательного определения напряжения

$$U_{R_2} = U_{ИЗ} + U_{ЗИ};$$

ток делителя R_1, R_2 задается 0,3—0,5 мА;

8) определения сопротивлений плеч делителя R_1 и R_2 исходя из известных напряжений $U_{пит}$ и U_{R_2};

9) определения емкости конденсатора C_3:

$$C_3 \geqslant (5 \div 10)\frac{1}{R_6 f_н},$$

где $f_н$ — нижняя граничная частота в герцах.

Методика была проверена при расчете каскада на полевом транзисторе типа КП103К. При замене в рассчитанной схеме транзисторов, взятых из одной партии, разброс тока стока находился в пределах ±10% от расчетного значения 1,4 мА, что вполне допустимо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренными схемами не ограничивается все многообразие схем входных каскадов УНЧ, используемых в современной практике. Однако наиболее характерные принципы и их схемотехнические решения приведены.

Зная предъявляемые к входным каскадам требования и критически оценивая тот или иной вариант схемы, реализующей эти требования, конструктор может использовать ее при разработке усилителя. При этом надо предостеречь радиолюбителей от слепого копирования приведенных схем. Как уже говорилось, большинство из них в конкретных конструкциях для получения необходимых входных параметров нуждается в индивидуальной доводке.

Например, если внимательно посмотреть цепи коррекции амплитудно-частотных характеристик всех приведенных в брошюре предусилителей-корректоров, то видно, что их постоянные времени несколько отличаются друг от друга. Такое положение явилось следствием разных амплитудно-частотных характеристик электромагнитных головок, используемых с корректорами. Это и понятно: ведь существуют головки с неравномерностью в рабочей полосе воспроизводимых частот ±1 дБ, и головки, у которых эта неравномерность превышает ±6 дБ.

Хочется предостеречь радиолюбителей от создания каскадов с неоправданно завышенными параметрами. Многие считают, что если полоса пропускания каскада очень широка и составляет несколько сотен килогерц, то такой каскад больше отвечает требованиям высококачественного звуковоспроизведения, чем каскад с полосой пропускания до 50—60 кГц. Некоторые радиолюбители стараются достигнуть очень высоких показателей за счет использования глубокой

отрицательной обратной связи. При этом результаты обычно разочаровывают конструкторов, так как, хотя гармонические искажения и снижаются, появляются другие виды искажений, устройства становятся неустойчивыми и т. д. Поэтому при конструировании схем усилительных каскадов надо стремиться к получению минимальных искажений всех видов и низкого уровня собственных шумов, в первую очередь, выбором правильного режима работы каскада, его рациональным монтажом и подбором высококачественных элементов и деталей, входящих в схему.

Одними из наиболее перспективных активных элементов для конструирования каскадов усиления являются полевые транзисторы. Здесь была дана только начальная информация о возможности их использования в этих каскадах. В настоящее время появились высокочастотные полевые транзисторы, такие как КП305, у которых входная емкость ниже, а коэффициенты передачи выше, чем у транзисторов серии КП103, используемых автором. Хотелось бы, чтобы радиолюбители попробовали использовать их во входных каскадах высококачественных УНЧ.

Оглавление

Цена 15 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «РАДИО И СВЯЗЬ»